



6º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

6CFE01-153

Montes: Servicios y desarrollo rural
10-14 junio 2013
Vitoria-Gasteiz



Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Vitoria-Gasteiz, 10-14 junio de 2013
ISBN: 978-84-937964-9-5
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Integración de la prevención de incendios en la gestión forestal: tipologías forestales de Cataluña según su vulnerabilidad a generar fuegos de copas

PIQUÉ, M.¹, VALOR, T.¹, LARRAÑAGA, A.² y CERVERA, T.³

¹ Área de Gestión Forestal Sostenible. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya (CTFC).

² Grup de Recolzament a les Actuacions Forestals (GRAF). Bombers. Departament d'Interior. Generalitat de Catalunya.

³ Centre de la Propietat Forestal (CPF). Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya.

Resumen

En el actual contexto de cambio climático es de esperar que el impacto de los grandes incendios forestales (GIF) cada vez sea mayor. Uno de los elementos clave que condicionan la capacidad de control de los GIF es la tasa de actividad de fuego de copas, que presenta valores de intensidad de fuego muy elevados y una gran facilidad de propagación por focos secundarios. En este contexto, reducir la vulnerabilidad de los bosques a generar y mantener fuegos activos de copas se presenta como un gran reto para los gestores forestales, que necesitan de herramientas para integrar la prevención de estos GIF en la gestión forestal.

En el marco del proyecto ORGEST, utilizando conocimiento experto, se ha determinado para los principales bosques de Cataluña una clasificación de tipologías estructurales y su vulnerabilidad a generar fuegos de copas, a partir de variables de estructura forestal que juegan un rol importante en la propagación de los fuegos y de fácil estimación en campo.

De esta manera los gestores forestales disponen de información para poder identificar el grado de vulnerabilidad al fuego de copas de un determinado rodal y orientar la silvicultura hacia la obtención de estructuras forestales con mayor resistencia al fuego.

Palabras clave

Estructura forestal, conocimiento experto, silvicultura preventiva, grandes incendios forestales (GIF).

1. Introducción

1.1. Gestión forestal y comportamiento del fuego

Los incendios forestales son la principal perturbación que afecta a los ecosistemas mediterráneos. Actualmente, la configuración del paisaje y la estructura de los bosques, caracterizados por una gran acumulación de combustible, propician la generación de fuegos de intensidad y velocidad elevadas que escapan de la capacidad de actuación de los sistemas de extinción. A día de hoy, las medidas de gestión existentes para la prevención de incendios forestales a menudo resultan insuficientes para disminuir la incidencia de los grandes incendios forestales (GIF) que propagan por las copas con efectos devastadores. Además, todo apunta a que en un futuro, el cambio global dará lugar a períodos más secos, cargas de combustibles mayores, debido al abandono rural y de los terrenos forestales, y a un aumento de la ocurrencia de GIF (PIÑOL et al., 1998).

En este contexto, la gestión forestal debe considerar más que nunca los incendios forestales. No obstante, para integrar el riesgo de GIF en la gestión y planificación forestal es necesario disponer de herramientas que ayuden a interpretar el grado de vulnerabilidad al fuego de las masas forestales, y a orientar la gestión hacia la consecución de estructuras más resistentes y resilientes al paso del fuego, que a la vez faciliten las tareas de extinción de incendios, modificando el comportamiento del fuego hacia fuegos de menor virulencia.

En este sentido, es importante tener en cuenta los factores principales que condicionan el comportamiento y la propagación de un incendio: topografía, meteorología y combustible (ROTHERMEL, 1983) (Figura 1) y poner especial atención en aquellos que podemos modificar con la gestión forestal. Desde la óptica de la gestión forestal y la prevención de incendios hay que tener presente que el combustible es el único factor sobre el que se puede influir si se quiere modificar el comportamiento del fuego (GRAHAM et al., 2004).

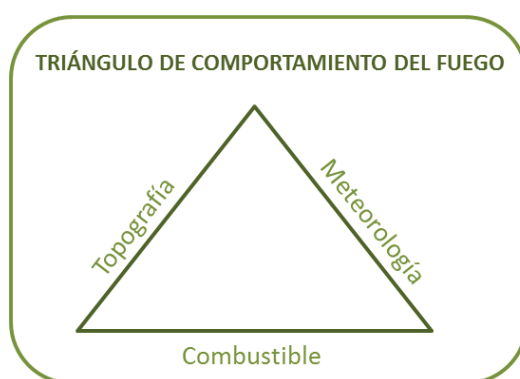


Figura 1. Triángulo de propagación del fuego (Rothermel, 1983)

Existen diferentes estrategias de gestión del combustible para contener o modificar el comportamiento del fuego, como son 1) el aislamiento y 2) la modificación o la conversión del combustible (PYNE et al., 1996). El objetivo que se persigue al aislar el combustible es controlar el incendio en un área y posibilitar así el ataque directo por parte de los medios de extinción. En cambio, los bosques en los que el combustible ha sido modificado o convertido pueden servir para rodear el fuego, pero en este caso el objetivo principal de la gestión forestal es influir en la propagación y comportamiento del mismo.

1.2. Tipos de incendios en función de su propagación

Es importante resaltar que no todos los fuegos queman de igual manera, así podemos diferenciar entre fuegos de baja, media o alta intensidad, en función de la tasa de producción de energía térmica del fuego, tanto en cantidad (temperatura que se alcanza) como en velocidad de transmisión (velocidad de propagación del fuego) (RETANA, 1996; KEELEY, 2009). Así pues, los fuegos que generan altas intensidades adquieren elevadas temperaturas y comportamientos extremos, dificultando las tareas de extinción mientras que los fuegos de baja intensidad normalmente se propagan por la superficie y son fácilmente extinguidos.

También existen diferentes tipos de incendios forestales en función del estrato implicado en su propagación, los fuegos de superficie y los fuegos de copas, los primeros

normalmente se refieren a fuegos de baja-media intensidad y los segundos a fuegos de alta intensidad. Concretamente éstos se clasifican en:

- Fuego de superficie: la llama se propaga a través de los combustibles de superficie y por el sotobosque de mayor altura.

- Fuego de copas: iniciado como consecuencia del calor de convección que transmite el fuego de superficie a las copas de los árboles (VAN WAGNER, 1977). Incluye dos subgrupos:

- Pasivo: las copas queman individualmente, el calor de convección no es suficiente para mantener la propagación entre copas.

- Activo: el fuego se propaga por las copas y por la superficie de forma continua, pero necesita el calor de convección para mantener esta propagación entre las copas.

El fuego de copas activo es el que representa la mayor amenaza para los sistemas de extinción, ya que genera intensidades de fuego altas, lanzamiento de focos secundarios masivos, longitudes de llamas elevadas y velocidades de propagación que duplican las producidas en un fuego de superficie (SCOTT & REINHARDT, 2001). También existen fuegos de copa independientes que propagan por la copas de manera independiente a la propagación del fuego por la superficie. Este tipo de incendio es poco común y se desarrolla bajo condiciones meteorológicas extraordinarias y pendientes elevadas.

Para evitar estas situaciones, es muy importante la gestión forestal activa con el objetivo de crear estructuras forestales que dificulten la propagación del fuego a copas y faciliten la extinción de los incendios. Aunque hay que tener en cuenta que, a menudo, la meteorología puede jugar un papel más relevante en el comportamiento del fuego que el propio combustible.

1.3. Vulnerabilidad de las estructuras forestales al fuego de copas

Las tipologías forestales, entendidas como formaciones forestales con una composición de especies y características selvícolas determinadas, relativas a su estructura y estado de desarrollo (GONZÁLEZ-OLABARRIA & PUKKALA, 2007) condicionan en gran medida la propagación del fuego y su virulencia (DODGE, 1972; ROTHERMEL, 1991; BILGILI, 2003).

Todo apunta a que bosques con poca acumulación de combustible y estructuras forestales con discontinuidad vertical, con respecto a los estratos de vegetación, y horizontal, con respecto al recubrimiento de copas y sotobosque, son más resistentes al fuego de copas dificultando su propagación y reduciendo su intensidad. Así lo demuestran estudios en los que se ha comprobado que si se alteran tanto las continuidades como las cargas de combustibles mediante tratamientos selvícolas o quemas prescritas, la vulnerabilidad al fuego de copas de los bosques disminuye (FULE et al., 2001; BROWN et al., 2004; AGEE & SKINNER, 2005; JOHNSON et al., 2007). Aumentar la altura del suelo a la base de la copa, reducir la carga de combustible en superficie y modificar la densidad de los rodales son algunas de las acciones que los gestores pueden llevar a cabo para aumentar la resistencia del arbolado al paso del fuego y, al mismo tiempo, facilitar las tareas de los equipos de extinción.

Actualmente, existen un número elevado de manuales que tienen como objetivo informar a los gestores de cómo crear estructuras forestales resistentes al fuego mediante tratamientos selvícolas (WEATHERSPOON, 1996; VELEZ, 2000; JOHNSON et al., 2007;

SERRADA et al., 2008) y sobre la secuencia de tratamientos para reducir la vulnerabilidad de un rodal a los fuegos de copas (AGEE & SKINNER, 2005, FERNANDES & RIGOLOT, 2007). También existen algunas herramientas como las desarrolladas por FAHNESTOCK (1970) y MENNING & STEPHENS (2007) que ayudan a determinar las características que hacen que un fuego pase de superficie a copas, interesantes por su sencilla aplicación. Ambas son claves dicotómicas, la primera valora el potencial de propagación de fuego en superficie y en copas en una escala de 1 al 10, mientras que la de MENNING & STEPHENS (2007) indica si el fuego subirá a copas o no.

Sin embargo, todavía es poca la información técnica y numérica sobre cuáles son las estructuras forestales más óptimas para que dado un fuego, éste no pase a las copas (% máximo admisible de recubrimiento del sotobosque, distancia entre estratos de vegetación, fracción cabida cubierta del arbolado, etc.) y los tratamientos más efectivos y económicamente viables para reducir la vulnerabilidad al fuego de copas de un rodal.

La efectividad de los tratamientos para reducir la vulnerabilidad a los fuegos de copas se ha demostrado ampliamente en fuegos experimentales, casos de estudio y/o con la utilización de simuladores (CAREY & SHUMANN, 2003; GRAHAM et al., 2004, PETERSON et al., 2005), aunque éstos últimos presentan una escasa aplicación práctica, porque requieren variables difíciles de medir que no se suelen estimar en los inventarios forestales convencionales.

2. Objetivos

El objetivo del presente trabajo es tipificar las principales estructuras de bosques de Catalunya según su vulnerabilidad a generar fuegos de copas, de manera que dado un rodal forestal, con una ubicación conocida y características silvícolas y estructurales definidas, se pueda identificar su grado de vulnerabilidad y orientar la silvicultura hacia la obtención de estructuras forestales más resistentes al fuego.

Para ello se desarrollan unas claves para estimar, mediante variables de fácil estimación en campo, la vulnerabilidad de un rodal o estructura forestal a generar fuegos de copas (CVFoC). Estas servirán de base para determinar las tipologías de bosques de Cataluña según su vulnerabilidad a generar fuegos de copas (TVFoC) y ofrecer a los gestores datos numéricos y referencias técnicas para guiar la gestión forestal hacia la prevención de GIF.

3. Metodología

A continuación se presenta la metodología seguida para la determinación de las tipologías forestales según su vulnerabilidad a generar fuegos de copas (TVFoC) y, más concretamente, la metodología para la construcción de las claves que permiten su identificación (CVFoC).

3.1 Diseño de las CVFoC y selección de las variables silvícolas-estructurales que condicionan el comportamiento del fuego

Las CVFoC se han desarrollado en base a información bibliográfica existente sobre variables silvícolas-estructurales que condicionan el comportamiento del fuego, herramientas

desarrolladas en otros países con fines similares (FAHNESTOCK, 1970; MENNING & STEPHENS, 2007) y, sobre todo, información obtenida mediante un panel de expertos.

Para seleccionar los participantes del grupo de expertos se utilizó un muestreo tipo bola de nieve (PATTON, 1990). En primer lugar, dos informantes clave fueron contactados y éstos identificaron otros posibles participantes. Los expertos seleccionados para proporcionar información son miembros del *Grup de Recolzament i Actuacions Forestals* de la *Generalitat de Catalunya* (GRAF, Generalitat de Catalunya), responsables de la extinción (uso del fuego técnico) y pre-extinción (ejecutar quemas controladas) de los incendios forestales en la región. Estos participantes tienen conocimientos silvícolas, de comportamientos del fuego y de extinción de incendios forestales, lo que les hace un excelente grupo para conseguir la información requerida. Se contactaron siete participantes y se les explicó el objetivo de la investigación, y las tareas en las que estarían involucrados en las distintas fases del proyecto: a) asistencia a los paneles expertos, b) realización de cuestionarios y c) validación de las CVFoC en el campo.

En la primera reunión del grupo de expertos, se explicó que características se buscaban para las CVFoC a desarrollar, así como el significado de las categorías de clasificación de la vulnerabilidad al fuego de copas, que se decidieron en tres (baja vulnerabilidad, media vulnerabilidad y alta vulnerabilidad (ver apartado 4.2.)). Así pues, las condiciones para la elaboración y aplicación de las claves fueron las siguientes:

- La escala de uso de las CVFoC es a nivel de rodal.
- Las CVFoC evalúan la disposición y la cantidad de combustible y, por tanto, las variables utilizadas en la clave son estructurales y silvícolas. La topografía, el viento y la orientación no se tienen en cuenta.
- A la hora de establecer los valores críticos de las variables, se supone que hay un escenario de sequía y, en consecuencia, los expertos deben emitir sus juicios con esta condición.
- Las CVFoC tipifican la vulnerabilidad de una estructura forestal para generar un fuego de copas partiendo del supuesto que el fuego se inicie en el rodal donde se utilizan las CVFoC o acceda al rodal propagado por la superficie desde otro lugar. Por ejemplo: en caso que llegue un fuego de copas a un rodal tipificado como de baja vulnerabilidad, desde el exterior del rodal, no se garantiza la eficiencia de la estructura, aunque existen altas probabilidades, según las características del fuego y la superficie del rodal gestionado, de que se reduzca la intensidad y afectación del fuego.
- La tipificación de la estructura forestal de un rodal con las CVFoC se realizará en puntos de muestreo distribuidos por el rodal, que podrán coincidir para facilitar las tareas, con los puntos de muestreo de un inventario forestal convencional o estimación pericial que se realice en el marco de cualquier proyecto de planificación. Las observaciones se estimarán en un radio de 8 m aproximadamente.
- Dado que un rodal forestal se caracteriza por su homogeneidad en cuanto a la tipología forestal y la estructura, la tipificación estructural en los diferentes puntos de muestreo no

debería distar demasiado. En caso de observarse diferentes clases de vulnerabilidad, se asignará al rodal la que sea dominante.

Una vez explicado lo que se pretendía se distribuyó un cuestionario. El cuestionario constaba de tres preguntas abiertas y se completó por separado. La primera cuestión fue sobre que variables silvícolas-estructurales consideraban los expertos que tienen más influencia en el comportamiento del fuego y, sobre todo, generación de fuegos de copas. La segunda pregunta fue sobre el diseño concreto de las CVFoC, para ello se discutieron tanto la clave desarrollada por FAHNESTOCK (1970) como el diagrama creado por MENNING & STEPHENS (2007). En la tercera cuestión se pidió a los expertos que seleccionaran las variables estructurales y silvícolas, de fácil estimación en campo, más importantes para tipificar un bosque según su vulnerabilidad a generar fuegos de copas y asignaran rangos de vulnerabilidad.

El objetivo del segundo panel de expertos fue establecer los valores de las variables seleccionadas en el primer panel, para las principales especies forestales de Cataluña, y determinar el número de claves que serían necesarias en función de las características fisiognómicas de las especies y su relación con el comportamiento del fuego. Así que se pidió a los expertos que establecieran los valores para cada una de las variables seleccionadas, que marcan la diferencia entre una vulnerabilidad alta, media y baja.

En el proceso se constató la dificultad de establecer diferentes valores entre especies y los expertos coincidieron en que lo que más influye en el comportamiento del fuego es la estructura forestal y disposición del combustible, no tanto la especie. Por lo tanto, en una segunda cuestión, se solicitó a los expertos que agruparan las especies por claves y que identificaran el número de claves necesarias para las principales especies que hay en Cataluña.

3.2. Elaboración y validación de las CVFoC

Se diseñaron e identificaron el número de claves, así pues se diferenciaron las especies forestales en dos grandes grupos, coníferas y quercíneas, según las diferencias fisiognómicas que presentan. Dentro del grupo de las coníferas, los expertos indicaron que las formaciones de *Pinus halepensis* merecían una clave aparte (grupo 1), porque constituyen masas muy afectadas por los incendios forestales y se dispone de un mayor conocimiento sobre las condiciones de propagación del fuego, lo que permite afinar más en la determinación de los valores críticos de las variables. Además, a menudo, se encuentran en etapas de regenerados jóvenes post-incendio y presentan alturas menores que el resto de coníferas.

El resto de coníferas (*Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*, *Pinus uncinata*, *Pinus pinea* y *Pinus pinaster*) se integraron en un mismo grupo (grupo 2), aunque los expertos señalaron algunas singularidades que debían tenerse en cuenta en el caso de bosques de pinos con acículas largas (*Pinus pinea* y *Pinus pinaster*, grupo 2.1.), que pueden generar fuegos de intensidad elevada cuando hay acumulación de acículas en el suelo, incluso en ausencia de estrato arbustivo. Las principales quercíneas se agruparon en un único grupo (grupo 3), independientemente de la especie.

Por último, con la información obtenida a partir del panel experto sobre los valores para cada una de las variables seleccionadas, que marcan la diferencia entre las diferentes clases de

vulnerabilidad, se construyeron unas primeras claves para cada grupo de especies definido. Para ello se analizó cada combinación de valores e intervalos posibles de todas las variables y se asignó una vulnerabilidad al fuego de copas en cada combinación. Finalmente se desarrollaron cuatro claves preliminares en función de los grupos de especies acordados (Tabla 1).

Las claves preliminares se distribuyeron entre los expertos y otros especialistas del mundo de los incendios forestales, junto con una ficha de campo. En esta ficha, los expertos anotaron, para cada punto de muestreo dentro de un rodal determinado, la vulnerabilidad al fuego de copas según su conocimiento experto y la vulnerabilidad obtenida mediante las claves. Asimismo, indicaron los valores estimados de las variables para evaluar las posibles adaptaciones de las claves. Durante el proceso, se perfilaron y adaptaron las claves provisionales hasta obtener las definitivas. Las CVFoC definitivas se sometieron a una validación final mediante una última fase de validación en campo.

4. Resultados y discusión

4.1. Variables silvícolas-estructurales que condicionan el comportamiento del fuego

Las variables seleccionadas hacen referencia a tres tipos de combustibles o estratos de vegetación presentes en la mayoría de rodales forestales (Figura 2).



Figura 2. Distribución y definición de los tipos de estratos de vegetación o combustible que caracterizan las estructuras forestales de un rodal forestal

Así pues, teniendo en cuenta los diferentes estratos de vegetación descritos, las variables finalmente seleccionadas para tipificar las estructuras forestales según su vulnerabilidad a generar fuegos de copas fueron:

- Recubrimiento del combustible de escala (%). Superficie de proyección del combustible de escala, sin tener en cuenta los posibles recubrimientos múltiples. Este valor nunca supera el 100 %.

- Distancia entre estratos de combustible (m). Distancia medida desde la parte alta del combustible inferior (de superficie o de escala) hasta que exista suficiente follaje en el

combustible superior (de escala o el aéreo) para que el fuego se propague verticalmente. Se estima la distancia media entre estos combustibles teniendo en cuenta el área de muestreo. Las distancias pueden ser entre combustible de superficie y escala, entre escala y aéreo o entre combustible de superficie y aéreo, en caso de presencia baja o nula de combustible de escala.

- Fracción de cabida cubierta del combustible aéreo (Fcc) (%). Superficie de proyección del combustible aéreo, sin tener en cuenta los posibles recubrimientos múltiples. Este valor nunca supera el 100 %.

-Recubrimiento del combustible de superficie (%). Superficie de proyección del combustible de superficie, sin tener en cuenta los posibles recubrimientos múltiples. Este valor nunca supera el 100 %.

Todas ellas variables de fácil estimación pericial en campo.

4.2. Claves para la clasificación de tipologías forestales según su vulnerabilidad a generar fuegos de copas

Se han desarrollado unas claves para determinar la vulnerabilidad de un rodal forestal a generar fuegos de copas (CVFoC). Estas claves se diferencian en 4 tipos en función de la especie dominante responsable de la propagación del fuego de copas. En la Tabla 1 se presentan los diferentes tipos de claves que el usuario puede seleccionar en función de la especie dominante del rodal.

Tabla 1. Tipos de CVFoC en función de la especie dominante

Tipo 1	Tipo 2	Tipo 2.1	Tipo 3
<i>Pinus halepensis</i>	<i>Pinus sylvestris</i> <i>Pinus nigra</i> <i>Pinus uncinata</i> <i>Pinus pinea</i> <i>Pinus pinaster</i>	<i>Pinus pinea</i> y <i>Pinus pinaster</i> con hojarasca (siempre que tengan menos de un 30 % de combustible de superficie).	<i>Quercus suber</i> <i>Quercus ilex ilex</i> <i>Quercus ilex ballota</i> <i>Quercus humilis</i> <i>Quercus faginea</i>

En la Figura 3 se presenta un ejemplo de clave del Tipo 2 para determinar la vulnerabilidad de un rodal forestal a generar fuegos de copas, de aplicación para el caso de rodales forestales dominados por *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*, *Pinus uncinata*, *Pinus pinea* y *Pinus pinaster*. Esta clave diferencia 31 tipos estructurales (5 de vulnerabilidad A, 14 de B y 12 de C). También se presentan unas imágenes de diferentes tipologías de bosques de *Pinus sylvestris* según su vulnerabilidad a generar fuegos de copas (Figura 4).

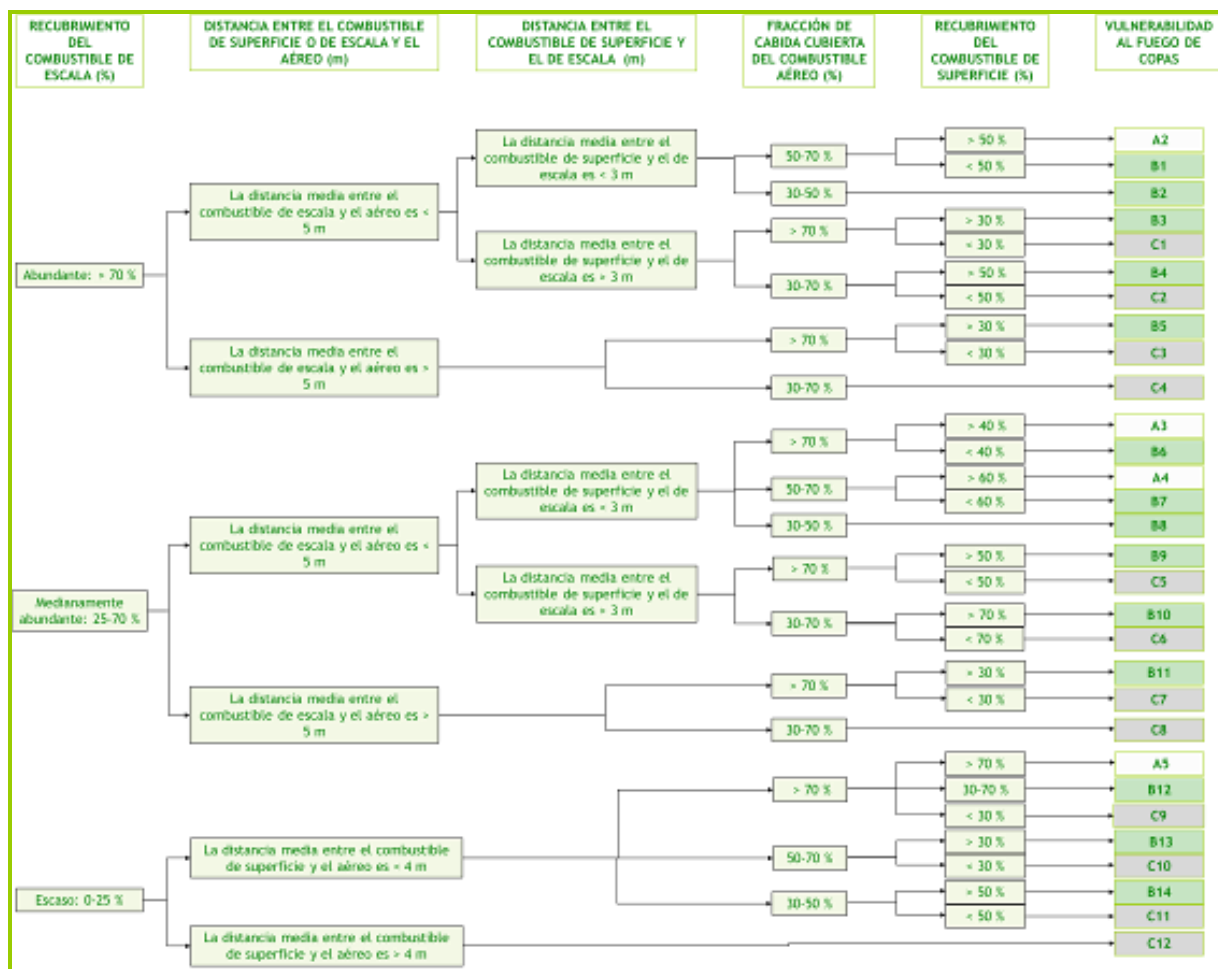


Figura 3. Ejemplo de Clave Tipo 2 para determinar la vulnerabilidad de un rodal forestal a generar fuegos de copas (CVFoC) para el caso de rodales de *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*, *Pinus uncinata*, *Pinus pinea* y *Pinus pinaster*



Figura 4: Ejemplo de tipologías de bosques de *Pinus sylvestris* según su vulnerabilidad a generar fuegos de copas. A, vulnerabilidad alta; B, vulnerabilidad media; C, vulnerabilidad baja.

A continuación se presenta el significado de cada clase de vulnerabilidad:

- Estructuras de vulnerabilidad alta (A): estructuras forestales con características selvícolas que ayudan a que el fuego suba a las copas y se mantenga en éstas. Estructuras donde los fuegos de copa activos son característicos, las estructuras afectadas por esta tipología de fuego normalmente presentan mortalidades elevadas.

- Estructuras de vulnerabilidad moderada (B): estructuras forestales con características selvícolas que limitan la subida del fuego a las copas y particularmente la propagación de éste por ellas. Estructuras que generan antorcheos y focos secundarios, que queman pasivamente de copas y en las que algunos grupos de pequeños árboles inflaman, pero la propagación entre copas no se mantiene de manera continua. Las estructuras afectadas por esta tipología de fuego normalmente presentan severidades menores que las anteriores, la existencia de una mezcla de árboles totalmente calcinados y otros con un alto porcentaje de copa marrón y algunos arboles verdes son característicos de estos rodales

- Estructuras de vulnerabilidad baja (C): estructuras forestales con características selvícolas que limitan que se produzcan fuegos de copas. El fuego se propaga por debajo del combustible aéreo. El combustible de superficie y el de escala, en caso de que existan, se consumen, pero dada la discontinuidad vertical con el combustible aéreo, el fuego no pasa a copas y se mantiene en la superficie. Las estructuras afectadas por esta tipología de fuego normalmente presentan mortalidades bajas. Puntualmente, algún árbol puede morir. Esta clase también incluye los regenerados, ya que los fuegos que se generan en ellos propagan con llamas de poca longitud, que pueden ser fácilmente controladas por los actuales servicios de extinción, aunque en la mayoría de los casos la mortalidad del arbolado será completa.

Aplicación de las claves

En la aplicación de estas claves es importante tener en cuenta los condicionantes para la elaboración y aplicación de las claves que se presentan en el apartado 2.1. Además, cabe resaltar que la gestión del combustible, y la creación de estructuras forestales del tipo C, no evitará que se produzca un fuego forestal, pero sí que el fuego se propague con elevada intensidad. Así pues, es probable que la modificación o conversión del combustible a escala de rodal no pueda alterar en gran medida el número de hectáreas o extensión que un incendio quema, pero sí puede influir en el tipo de fuego que se desarrolla, reduciendo, en la mayoría de los casos, la severidad, y en el caso que la ignición se produzca en un área gestionada, impidiendo que el fuego se propague a las copas y, por tanto, consiguiendo que éste quede reducido a un fuego de superficie (Figura 5).



Figura 5. A la izquierda, fuego que propaga a copas. A la derecha, fuego de superficie, cuyo efecto sobre el arbolado incluso puede ser positivo al simular un tratamiento de desbroce y clara por lo bajo

La identificación de las tipologías forestales según su vulnerabilidad a generar fuegos de copas (TVFoC), permite priorizar las actuaciones selvícolas en los rodales más vulnerables y articular modelos de gestión que avancen hacia la estructuración del bosque con la finalidad de reducir la incidencia de grandes incendios (GIF) en el territorio.

5. Conclusiones

Reducir la vulnerabilidad de los bosques a generar y mantener fuegos activos de copas se presenta como un gran reto para los gestores forestales. Así pues, es importante disponer de herramientas que, de manera rápida y sencilla, mediante la utilización de variables de fácil estimación en campo, permitan identificar si un rodal forestal es vulnerable a generar fuegos de copas o, por el contrario, presenta unas características que lo hacen resistente y dificultan la propagación de fuego.

La clasificación de tipologías forestales según su vulnerabilidad a generar fuegos de copas desarrollada, le permite al gestor, dado un rodal de alta vulnerabilidad, planificar los tratamientos forestales más idóneos (eficientes y de mínimo coste) con el fin de obtener estructuras forestales resistentes y resilientes al fuego de copas.

6. Agradecimientos

Agradecimientos al Centre de la Propietat Forestal (CPF) del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya. Al Grup de Recolzament a les Actuacions Forestals (GRAF) dels Bombers de la Generalitat de Catalunya y a la Dirección General de Gestión Forestal y Grupo de Apoyo al Director de Extinción del Gobierno de Aragón (GADEX), por su colaboración en la determinación y validación en campo de los tipos de estructuras forestales y su vulnerabilidad a generar fuegos de copas.

7. Bibliografía

AGEE, J.K.; SKINNER, C.N.; 2005. Basic principles of forest fuel reduction treatments. *Forest Ecol Manag* 211 83-96.

BROWN, R.T.; AGEE, J.K.; FRANKLIN, J.F.; 2004. Forest restoration and fire: Principles in the context of place. *Conserv. Biol.* 18 903-912.

BILGILI, E. 2003. Stand development and fire behavior. *Forest Ecol Manag* 179 333-339

CAREY, H.; SCHUMANN, M.; 2003. Modifying wildfire behavior - The effectiveness of fuel treatments . Southwest Region Working Paper (2). National Community Forestry Center, Santa Fe, NM. 26 p.

DODGE, M.; 1972. Forest fuel accumulation - a growing problem . *Science* 177 139-142

FAHNESTOCK, G.R.; 1970. Two keys for appraising forest fire fuels . Research paper (PNW-99). USDA Forest Service, Portland, OR. 31.

FERNANDES, P.M.; RIGOLOT, E.; 2007. The fire ecology and management of maritime pine (*Pinus pinaster Ait.*). *Forest Ecol Manag* 241 1-13.

FULE, P.Z.; WALTZ, A.E.M.; COVINGTON, W.W.; HEINLEIN, T.A.; 2001. Measuring forest restoration effectiveness in reducing hazardous fuels. *J. Forest.* 99 24-29

GONZÁLEZ-OLABARRÍA, JR; PUKKALA, T.; 2007. Characterization of wildfire events in Catalonia (north-east Spain). *Eu J Forest Res* 126: 421-429

GRAHAM, R.T.; MCCAFFREY, S.; JAIN, T.B. 2004. Science basis for changing forest structure to modify wildfire behavior and severity. General Technical Report (RMRS-120). USDA Forest Service, Fort Collins, CO. p-43.

JOHNSON, M.C.; PETERSON, D.L.; RAYMOND, C.L.; 2007. Guide to fuel treatments in dry forests of the Western United States: assessing forest structure and fire hazard. General Technical Report (PNW-686). USDA Forest Service, Portland, OR. p- 322.

KEELEY, J.E. 2009. Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *Int J Wildland Fire* 18 116-126

MENNING, K.M.; STEPHENS, S.L. 2007. Fire climbing in the forest: A semiquantitative, semiquantitative approach to assessing ladder fuel hazards . *West. J. Appl. For.* 22 88-93

PATTON, M.Q.; 1990. Qualitative evaluation and research methods. Sage Publications. 536. London.

PETERSON, D.L.; JOHNSON, M.C.; AGEE, J.K.; JAIN, T.B.; MCKENZIE, D.; REINHARDT, E.D.; 2005. Forest structure and fire hazard in dry forests of the Western United States . General Technical Report (PNW-628). USDA Forest Service, Portland, OR. 30 p.

PIÑOL, J.; TERRADAS, J.; LLORET, F. 1998. Climate warming, wildfire hazard and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Clim Change*, 38 345-357

PYNE, S.J.; ANDREWS, P.L.; LAVEN, R.D. 1996. Introduction to Wildland Fire.. Wiley. 808. New York.

RETANA, J. 1996. Característiques d'intensitat i extensió dels incendis. En: TERRADAS, J. (eds.): Ecologia del foc. 59-62. Edicions Proa. Barcelona.

ROTHERMEL, R.C. 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. General Technical Report (INT-143). USDA Forest Service, Ogden, UT. 161 p.

ROTHERMEL, R.C. 1991. Predicting behavior and size of crown fires in the Northern Rocky Mountains . Research Paper (INT-438). USDA Forest Service, Ogden, UT. 46 p.

SCOTT, J.H.; REINHARDT, E.D.; 2001. Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire behavior. Research paper (RMRS-29). USDA Forest Service, Fort Collins, CO. 59 p.

VAN WAGNER, C.E.; 1977. Conditions for the start and spread of crown fire. *Can. J. Forest Res* 7 23-34.

VÉLEZ, R.; 2000. La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias. McGraw-Hill.1320. Madrid.

WEATHERSPOON, P.C.; 1996. Fire-silviculture relationships in Sierra forests. En: Sierra Nevada Ecosystem Project: Final Report to Congress. Vol. II, Assessments and scientific basis for management options. Centers for Water and Wildland Resources, University of California. P. 1167-1176.